

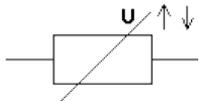
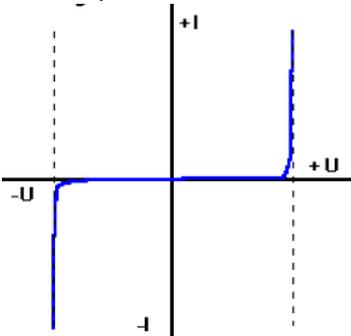
1. Widerstände

1.1 Vergleichen Sie Kohleschicht-, Metallschicht-, und Drahtwiderstände hinsichtlich ihrer Kennwerte Rauschen, Temperaturkoeffizient, Preis und Langzeitstabilität (größer-kleiner, gut-schlecht).

	Kohleschicht	Metallschicht	Drahtwiderstand
Temperaturkoeffizient α	$\alpha < 0$ $ \alpha $ relativ groß $\approx -2 \dots -8 \cdot 10^{-4} K^{-1}$	$ \alpha $ kleiner als Kohleschicht $\approx \pm 200 \dots 100 \cdot 10^{-6} K^{-1}$	$\alpha > 0$ für Meßzwecke $\approx \pm 2 \dots 5 \cdot 10^{-6} K^{-1}$
Einsatztemperatur	-55°C bis +155°C	-65°C bis +175°C	-55°C bis +450°C
Rauschen	Stromrauschen ca. 10x höher als bei Metallschicht	Stromrauschen kleiner als Kohleschicht (kleine Korngrenzen)	Kein Stromrauschen
Preis	preiswert	preiswert (teurer als Kohleschicht)	Kann teuer werden je nach verwendeten Material
Alterung	altern schneller	altern langsamer	lange haltbar, altern kaum
max. Belastbarkeit bei P_{70}	0,25W-1W	0,25W-2W	0,25W-100W
Stabilität bei v_{70}	\pm (1% bis 10%)	\pm (0,1% bis 1%)	\pm (0,1% bis 5%)
Bemerkungen	Universalwiderstand	Häufigster Typ Geringe Toleranzen Eignet sich vorallem im HF-Bereich	Niedrige Widerstände Hohe Leistungen
Anwendungen	Unterhaltungselektronik	Unterhaltungselektronik Industrieelektronik Datenverarbeitung Raumfahrt	Nachrichten-, Mess- und Regelwiderstände

1.2 Was ist ein VDR-Widerstand, worauf beruht seine Funktion und wofür wird er eingesetzt? Geben Sie das Schaltzeichen an und Stellen Sie die I/U-Kennlinie dar!

VDR – Voltage Dependent Resistor (Varistor)

<ul style="list-style-type: none"> - Nichtlinear - Spannungsabhängig - Aus Halbleitermaterialien 	<p>Schaltzeichen::</p> 
<p>Einsatzgebiete: (wegen steilen Anstieg des Widerstandswertes und geringer Schaltzeiten $t_s < 25ns$)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Spannungsbegrenzung (Stoßspannungsbegrenzung) - Spannungsstabilisierung - Überspannungsschutz 	<p>I/U-Kennlinie:</p> 

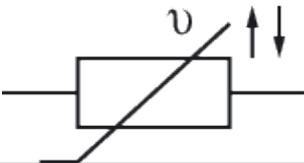
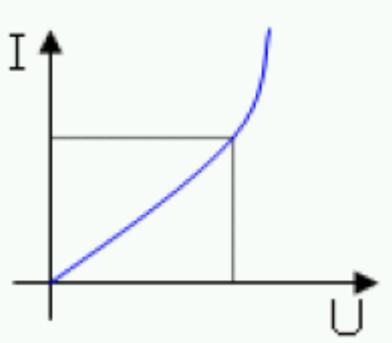
Funktionsweise:

Sperrschichten entstehen aus den vielen kleinen Halbleiterzonen mit unterschiedlicher Leitfähigkeit in den Halbleiterkristallen. Durch die angelegte Spannung entsteht ein elektrisches Feld welches diese Sperrschichten teilweise abbaut. Wird die Spannung weiter erhöht werden mehr Sperrschichten durch die Feldstärke abgebaut.

- Widerstand nimmt nichtlinear mit zunehmender Spannung ab
- Oberhalb der Schwellspannung wird der Widerstand kleiner (Spannungen werden am Grenzwert abgeschnitten)
- I/U-Kennlinie ist Symmetrisch
- Die Polung spielt keine Rolle

1.3 Was ist ein NTC-Widerstand, worauf beruht seine Funktion und wofür wird er eingesetzt? Geben Sie das Schaltzeichen an und Stellen Sie die I/U-Kennlinie dar!

NTC – Negative Temperatur Koeffizient (Heißleiter)

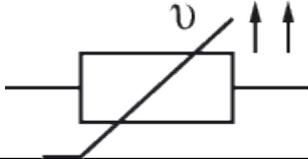
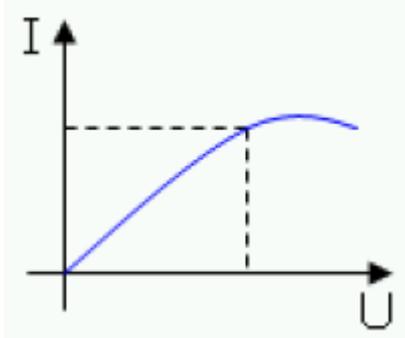
<ul style="list-style-type: none"> - Die elektrische Leitfähigkeit ist im heißen Zustand größer! => stark negativer Temperaturkoeffizient 	<p>Schaltzeichen:</p> 
<p>Einsatzgebiete:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Temperaturfühler bei Temperaturmessung - Reduzierung des Anschaltstromes in Stromkreisen - Anzugsverzögerung (in Reihe zum Relais) - Abfallverzögerung (parallel zum Relais) - Temperaturstabilisierung von Halbleiterschaltungen als Arbeitspunkteinstellung - Spannungstabilisierung 	<p>I/U-Kennlinie:</p> 

Funktionsweise:

Bei Steigender Temperatur werden mehr Elektronen aus ihren Kristallbindungen herausgerissen. Der Widerstand verhält sich bei kleinen Strömen und Spannungen nahezu linear.

1.4 Was ist ein PTC-Widerstand, worauf beruht seine Funktion und wofür wird er eingesetzt? Geben Sie das Schaltzeichen an und Stellen Sie die I/U-Kennlinie dar!

PTC – Positive Temperatur Koeffizient (Kaltleiter)

<ul style="list-style-type: none"> - Die elektrische Leitfähigkeit ist im kalten Zustand größer! => (dennoch nicht immer positiver Temperaturkoeffizient) 	<p>Schaltzeichen:</p> 
<p>Einsatzgebiete:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Flüssigkeitsniveaufühler (Flüssigkeit kühlt den eigenerwärmten PTC ab) - Temperaturregelung (fremderwärmt) für eine Heizung - Leistungs-PTC als Alternative für Schmelzsicherungen zum Schutz gegen Überstrom 	<p>I/U-Kennlinie:</p> 

Funktionsweise:

Bei dieser Art von Halbleiter erhält man durch die Gitteranordnung der Atome je ein freies Valenzelektron pro Atom. Diese Elektronen sind leicht beweglich. An einer Stromquelle angeschlossen, bewegen sich die freien Valenzelektronen zum Pluspol und bewirken die elektrische Leitfähigkeit.

Nahezu alle Metalle sind Kaltleiter, da sie bei niedrigeren Temperaturen besser leiten. PTCs bestehen aus polykristallinen Titanat-Keramik-Sorten, die mit Fremdatomen verunreinigt werden (Dotieren).

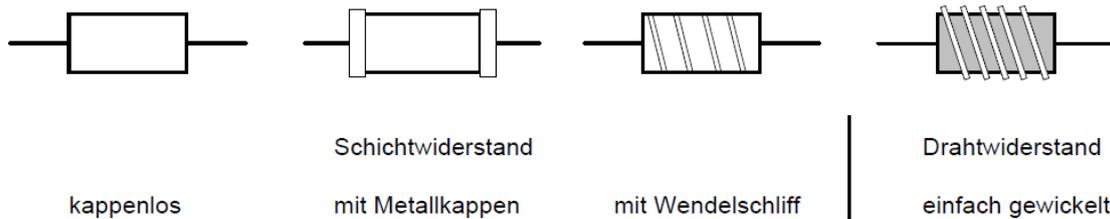
1.5 Wie kann man bei gewickelten Drahtwiderständen die Induktivität vermindern?

Die Induktivität bei gewickelten Drahtwiderständen kann durch eine bifilare Wicklung verringert werden. Dabei werden Hin- und Rückleiter in ihrer gesamten Länge parallel geführt. Dadurch wird das entstehende Magnetfeld kompensiert.

1.6 Wo werden Drahtwiderstände eingesetzt?

- im NF-Bereich bis 20 kHz
- wenn eine hohe Lebensdauer gefordert ist
- wenn hohe Belastungen auftreten können
- wenn geringe Toleranzen gefordert werden

1.7 Welche der Dargestellten Widerstandsbauformen ist für HF-Anwendungen am besten geeignet? Begründen Sie Ihre Entscheidung!

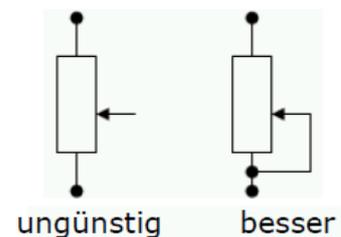


- Der Kappenlose Schichtwiderstand ist am besten geeignet
- Beim Schichtwiderstand mit Metallkappen wirken die Kappen wie Kondensatorplatten
- Wendenschliff oder gewickelte Drahtwiderstände wirken wie Spulen
 - o Je kleiner der Widerstand, um so größer die parasitäre Induktivität
- Um Wendenschliff zu kompensieren kann die Mäanderwicklung verwendet werden

1.8 Geben Sie eine Möglichkeit an wie man die Verwendung von einstellbaren Widerständen optimieren kann.

Vorteile der zweiten Möglichkeit:

- keine Unterbrechung des Stromkreises wegen Unebenheiten
- Vermeidung von hohen Strömen beim „öffnen und schließen“



2. Kondensatoren

2.1 Welcher Zusammenhang besteht zwischen Ladung Q, Spannung U und Kapazität C an einem Kondensator?

Ladung: $Q = C \cdot U$ (in As)

Energie: $W = \frac{C \cdot U^2}{2}$ in (VAs)

Feldstärke: $E = \frac{U}{d}$

Kapazität: $C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$

Die Dielektrizitätskonstante ϵ_r ist Werkstoffabhängig und $\frac{A}{d}$ ist Geometrieabhängig.

2.2 Was versteht man unter den Verlusten eines Kondensators?

Dielektrische Verluste (nur bei AC)

(Arbeit die für die Polarisation benötigt wird)

abhängig vom Polarisationsmechanismus

(also vom Werkstoff)

ohmsche Verluste in Kondensatorplatten und Zuleitung

Reibungsverluste im Dielektrikum

Isolations- und Leitungsverluste (bei AC oder DC)

(Ursache: Leitfähigkeit des Isolators)

2.3 Welche Bedeutung hat die Güte eines Kondensators für seinen Einsatz in elektronischen Schaltungen?

- die Kapazität eines Kondensators ändert sich nach einer gewissen Betriebszeit (=>Alterung)
- die Güte beschreibt dabei, wie schnell und wie stark ein Kondensator altern kann

2.4 Ordnen Sie den Kondensatortypen Elektrolytkondensator und metallisierte Kunststoffolie die folgenden Eigenschaften zu!

Elektrolytkondensator	Metallisierte Kunststoffolie
<ul style="list-style-type: none"> - Großes Verhältnis C/V - Hohe ohmsche Verluste - Ausgeprägte Alterung - Polarer Kondensator - Starke Temperaturabhängigkeit von C - Spannungsabhängigkeit von C 	<ul style="list-style-type: none"> - Selbstheilung bei Durchschlag - Hohe Konstanz von C - Geringe Verluste - Verträgt hohe Spannungsspitzen

2.5 Erklären Sie den prinzipiellen Aufbau eines Elektrolytkondensators! Welche Aufgabe hat der Elektrolyt? Welchen Vorteil und welche Nachteile haben Elkos gegenüber anderen Bauformen von Kondensatoren und worauf muss beim Einsatz besonders geachtet werden?

prinzipieller Aufbau:

- je dünner das Dielektrikum (oder je kleiner der Plattenabstand), umso größer ist die Kapazität eines Kondensators
- um das zu erreichen muss sich die 2. Kondensatorplatte an alle Unebenheiten der oxidierten Oberfläche der 1. Kondensatorplatte anpassen können dies erreicht man durch eine flüssige Gegenplatte → Elektrolyt

Aufgabe des Elektrolyt:

- Leitfähige Flüssigkeit die die eigentliche Kathode des Kondensators bildet.

bis auf wenige Ausnahmen immer gepolte Kondensatoren mit zum Teil sehr hohen Kapazitätswerten von 1 μF ... 10 mF. Ihre Baugrößen sind dennoch vergleichsweise klein.



Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - Preiswert - Hohe Kapazität pro Volumen - Hohes Energiespeichervermögen pro Volumen - Ohne Strombegrenzung betreibbar - Relativ niedrige Nennspannung 	<ul style="list-style-type: none"> - Durch Wärmefluss begrenzte Lebensdauer - Relativ hoher Reststrom (Am Anfang der Innbetriebnahme) - Relativ schlechtes Tieftemperaturverhalten - Empfindlich gegenüber mechanischen Beschädigungen - Sehr empfindlich gegenüber Halogenen (Chlor, Brom) → Korrosion - Längere Spannungsbelastung in Falschpolrichtung zerstört den Kondensator meist durch Explosion - das Elektrolyt kann austrocknen oder auslaufen (Alterung) - sehr hohe Toleranz der Kapazität (Verluste und Abweichungen) - hohe Dielektrische Verluste P nicht HF-geeignet - um die Kapazität zu erhöhen kann die Alufolie aufgeraut werden, das noch einmal eine größere Toleranz (von -20% bis +100%) - hohe Leckströme -

Was muss beim Einsatz beachtet werden?

- muss gepolt betrieben werden (Fehlpolung bis 2V möglich)
- Tantal-Elkos sind empfindlich gegen hohe Lade- und Entladeströme

2.6 Welche Art der Zusammenschaltung von Elektrolytkondensatoren ist unzulässig und welche Schaltung wirkt wie ein unipolarer Kondensator?



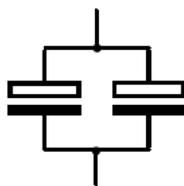
a)



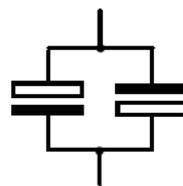
b)



c)



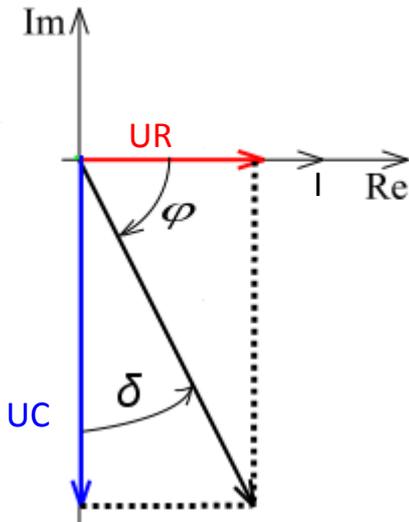
d)



e)

- in Reihe geschaltene Elkos sind immer zulässig $C = C/2$ (a, b, c)
- zusätzlich gegensinnig geschaltene Elkos ergeben einen unipolaren Elko (b, c)
- bei der Parallelschaltung von Elkos ist eine gegensinnige Schaltung (e) unzulässig, bei gleichsinniger Schaltung (d) ergibt sich eine Kapazität von $2C$

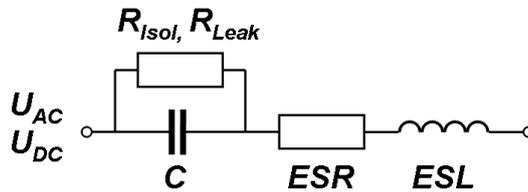
2.7 Skizzieren Sie in einem Zeigerdiagramm Strom und Spannung an einem verlustfreien Kondensator im Wechselstromkreis! Wie weicht ein realer, verlustbehafteter Kondensator hiervon ab?



- Idealer Kondensator
 φ zwischen I und $U \triangleq 90^\circ$
- Realer Kondensator
 φ kleiner 90°

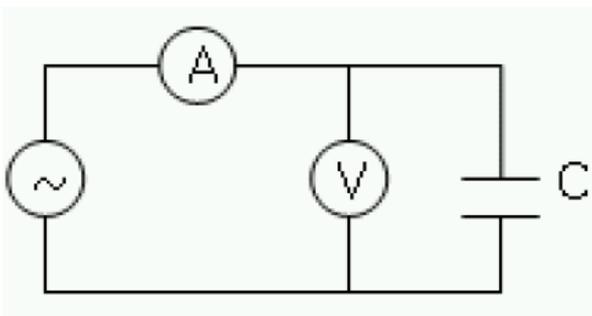
$$\tan \delta = \frac{UR}{UC} = \frac{I \cdot R}{\frac{I}{\omega \cdot C}} = R \cdot \omega \cdot C$$

2.8 Geben Sie das Ersatzschaltbild eines realen Kondensators an und erläutern Sie die Komponenten.



- C , die Kapazität des Kondensators,
- R_{isol} , der Isolationswiderstand des Dielektrikums bzw. R_{Leak} , der Widerstand, der den Reststrom bei Elektrolytkondensatoren repräsentiert,
- ESR (engl. Equivalent Series Resistance), der äquivalente Serienwiderstand, in ihm sind die ohmschen Leitungs- und die dielektrischen Umpolungsverluste des Kondensators zusammengefasst
- ESL (engl. Equivalent Series Inductivity L), die Äquivalente Serieninduktivität, sie fasst die parasitäre Induktivität des Bauelementes zusammen.

2.9 Wie lässt sich die Kapazität eines Kondensators mit Hilfe eines Wechselspannungsgenerators und zweier Multimeter (Effektwerte von Wechselstrom und Wechselspannung) bestimmen?



$$- Z^2 = X_C^2 + R^2$$

$$- X_C = \sqrt{Z^2 - R^2}$$

$$- C_N = \frac{1}{2\pi f X_C}$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

C_N ... Nennkapazität

3. Spulen

3.1. Was sagt der AL-Wert einer Spule aus?

AL ist die auf die Windungszahl $n = 1$ bezogene Induktivität der Spule. Der AL-Wert eines Kerns wird vom Hersteller im Datenblatt spezifiziert. Er berücksichtigt die Permeabilität des Kernmaterials und Geometrieeffekte.

Beispiel: Für eine Zylinderspule Länge $l = 3\text{cm}$, Durchmesser $D = 1\text{cm}$ ohne Kern $\mu_r = 1$

$$L = \mu \frac{A}{l} \frac{n^2}{1+0,45\frac{D}{l}} \quad A_L = \frac{L}{n^2} \quad A_L = 2,86 \text{ nH}$$

3.2. Nennen Sie jeweils die wesentlichen Anwendungsgebiete für Blechkerne, Masseisenkerne und Ferritkerne!

Spulenkern haben die Aufgabe, die Induktivität der Spule zu verstärken oder zu verringern. Die durch einen magnetischen Kern erreichte Erhöhung der Induktivität führt zu einer Verringerung der für einen bestimmten Induktivitätswert erforderlichen Windungszahl bzw. Leiterlänge und damit zur Verringerung des störenden elektrischen Widerstandes der Spule.

Kerne aus elektrischen Leitern wie Kupfer oder Aluminium, die durch Feldverdrängung die Induktivität verringern, werden zur Abstimmung von (Schwingkreis-)Spulen im Hochfrequenzbereich, z. B. bei UKW-Tunern, verwendet.

Blechkerne:

- Für den NF-Bereich $f \leq 20\text{kHz}$
- Transformatoren

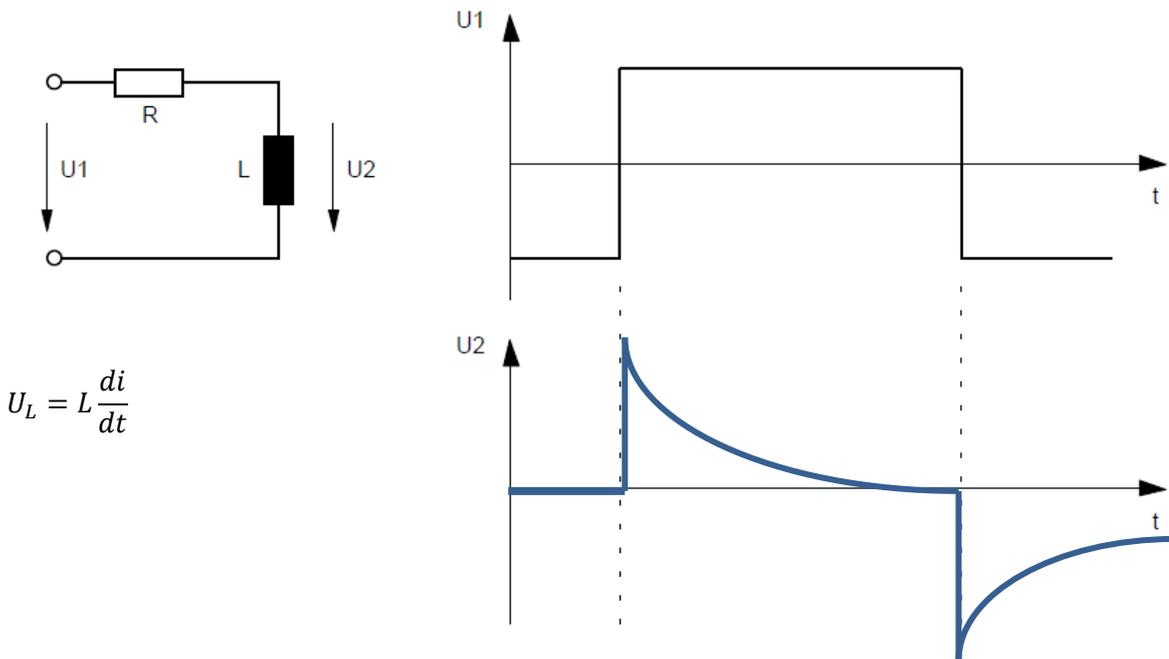
Masseisenkern (Eisenpulverkerne):

- Für den HF-Bereich
- Speicherdrosseln (Eingesetzt in der Leistungselektronik zur Dämpfung von unerwünschten Frequenzen oder zur Energiespeicherung)

Ferritkerne (magnetische Oxide mit geringer elektrischer Leitfähigkeit):

- Ni-Zn-Ferrite bis $f=100\text{MHz}$ einsetzbar (am größten verbreitet)
- Abgeschirmte und kompakte Spulen

3.3. Skizzieren Sie den Verlauf der Spannung an der Spule im Schaltbild!



Durch die sehr kleine Zeitänderung ist die Spannung anfangs sehr hoch. Weil nach dem Erreichen des Spannungswertes die Stromänderung null ist nimmt der Wert wieder ab bis die Quellspannung wieder einen negativen Sprung macht.

3.4. Welche Erscheinungen tragen zum Verlustfaktor einer Spule bei?

Drahtwiderstand, Kupferverluste:

Verluste durch den Widerstand der Wicklung

Kernverlustwiderstand:

Die Magnetisierung eines Spulenkerns folgt einem externen Wechselfeld nicht trägheitsfrei: Zwischen dem externen Wechselfeld und der Magnetisierung tritt eine Phasenverschiebung auf. Dies führt zu Ummagnetisierungsverlusten den sog. Kernverlusten.

Temperaturkoeffizient:

Technische Spulen weisen einen temperaturabhängigen Induktivitätswert auf.

$$\tan\delta = \frac{R}{\omega L}$$

3.5. Mit welchen konstruktiven Maßnahmen können die Verluste an einer Spule bei hohen Frequenzen verringert werden?

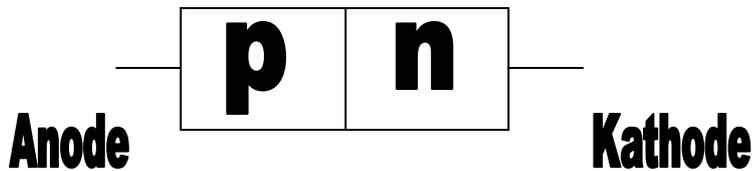
Damit der Verlustfaktor der Spule möglichst minimal wird muss das Material so ausgewählt werden, das bei der Betriebsfrequenz den geringsten Kernverlust aufweist.

Im HF-Bereich sind das Masseisenkerne oder Ferritkerne.

4. Halbleiterdioden

4.1. Erklären Sie den inneren Aufbau und die Wirkungsweise einer Halbleiterdiode!

Aufbau:



Wirkungsweise:

Äußere Spannung in Sperrrichtung:

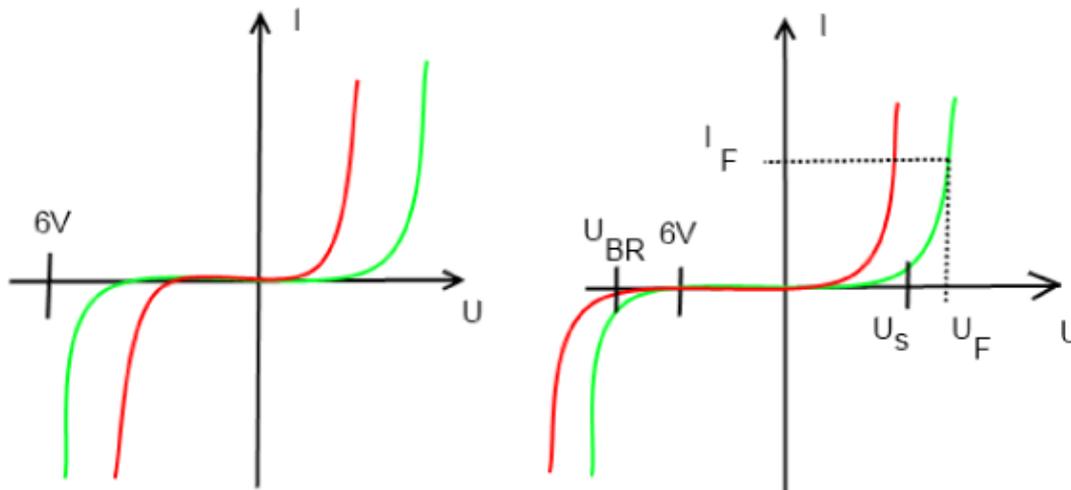
Mit einer angelegten Spannung wird die Sperrschicht noch breiter das heißt das es für Elektronen schwieriger wird diese zu überwinden. (Barriere wird höher)

Äußere Spannung in Durchlassrichtung:

Die Sperrschicht wird kleiner, Elektronen können leichter durch. Die Raumladungszone verschwindet, die Diode wird leitend.

4.2. u 4.3 Skizzieren sie die Vollständige I/U-Kennlinie einer Si-Diode und bezeichnen Sie alle wichtigen Kenngrößen! Kennzeichnen Sie, wie sich die Kennlinie mit steigender Temperatur ändert!

Kennlinie bei Steigender Temperatur



U_S -Schwellspannung

U_F -Durchlassspannung

I_F -Durchlassstrom

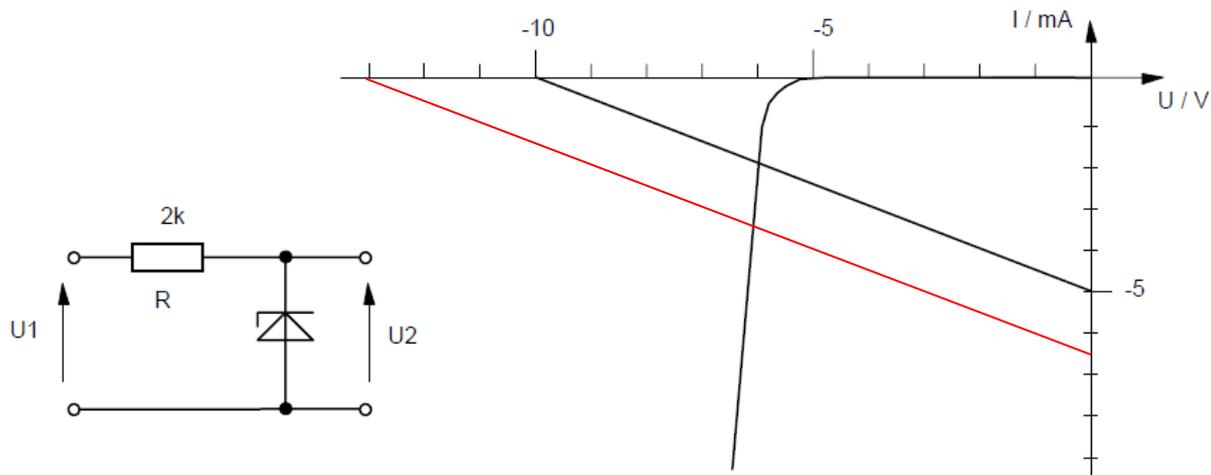
U_{BR} -Durchbruchspannung

Liegt die Durchbruchspannung hinter der 6V-Grenze so verschiebt sich die kennlinie nach links. Liegt sie vor der 6V Grenze so verschiebt sie sich nach rechts. In Durchlassrichtung verschiebt sie sich immer nach links.

4.4. Geben Sie die typische Schwellspannung entsprechend dem Halbleitermaterial Silicium, Germanium und Selen an!

Germanium 0,3V
Silicium 0,7V
Selen 0,6V

4.5. Bei der dargestellten Stabilisatorspannung mit Z-Diode ändert sich die Spannung U_1 von 10V auf 13V. Erklären Sie mit Hilfe der Arbeitsgeraden von R, wie sich die Ausgangsspannung von U_2 ändert.

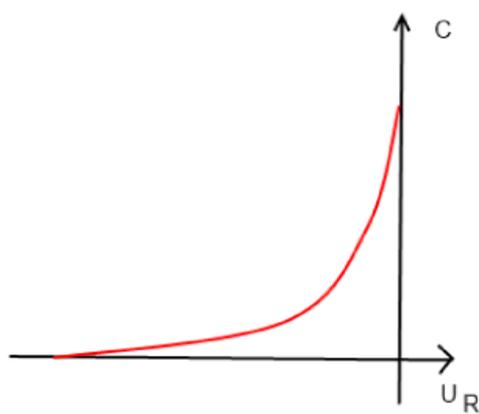


Die Spannung des neuen Arbeitspunktes ändert sich nur um wenige Volt, weil die Kennlinie der Diode in Sperrrichtung sehr steil verläuft.

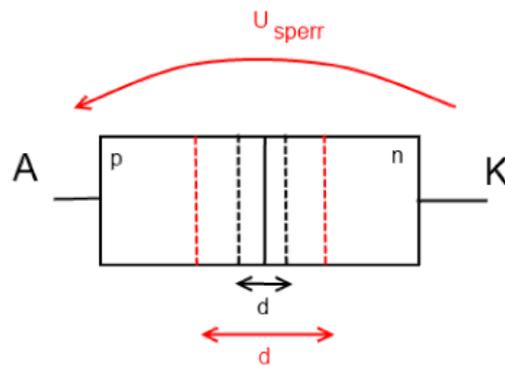
4.6. Worauf beruht der Durchbruch einer Halbleiterdiode in Sperrrichtung?

- 1.) Spannungsdurchbruch
 - a.) Lawinendurchbruch: schwach dotierte p-n-Übergänge
 - b.) Felddurchbruch(Zenerdurchbruch): Feldinduzierte Übergänge $V_B \rightarrow L_B$
Typisch für stark dotierte p-n-Übergänge
- 2.) Thermischer Durchbruch
Erhöhung der Ladungsträgerkonzentration durch Selbsterwärmung
 I_s steigt an $\rightarrow P$ steigt an $\rightarrow T$ steigt an

4.7. Skizzieren sie die Abhängigkeit der Sperrschichtkapazität einer Halbleiterdiode von der Spannung U_R !

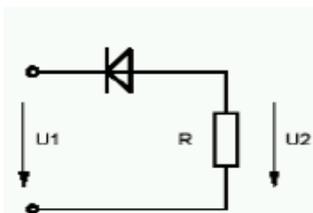


$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$



Wird eine Spannung in Sperrichtung angelegt vergrößert sich die Sperrschicht und die Kapazität wird kleiner.

4.8. Skizzieren sie den zeitlichen Verlauf der Spannung am Widerstand R und definieren Sie daran die Schaltzeiten einer Diode!

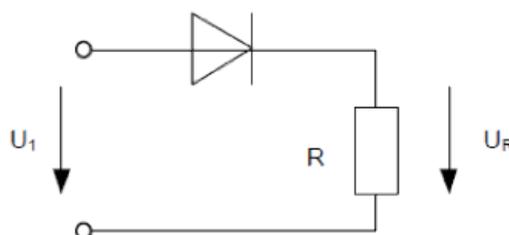
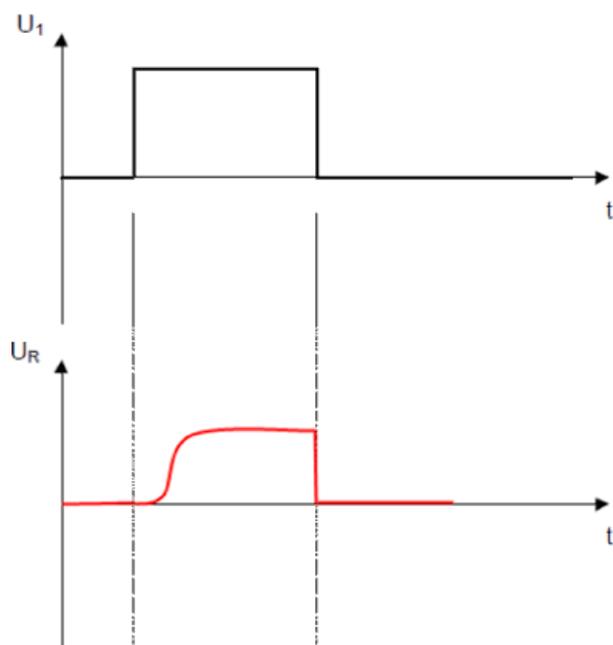
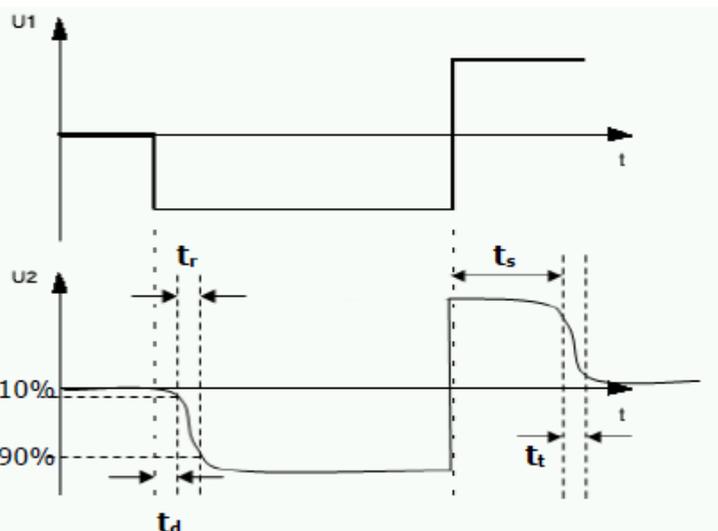


Einschalten:

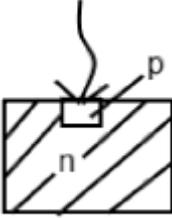
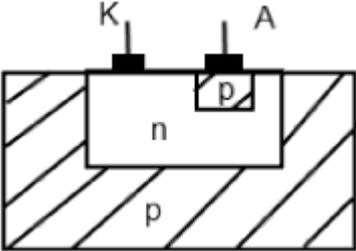
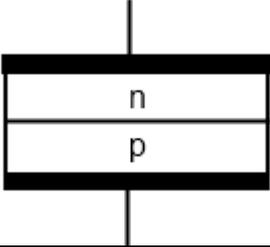
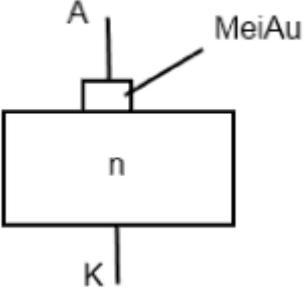
- t_d – delay, Verzögerung
- t_r – rise, Anstiegszeit
- $t_{on} = t_d + t_r = t_{fr}$ – (forward recovery)

Ausschalten:

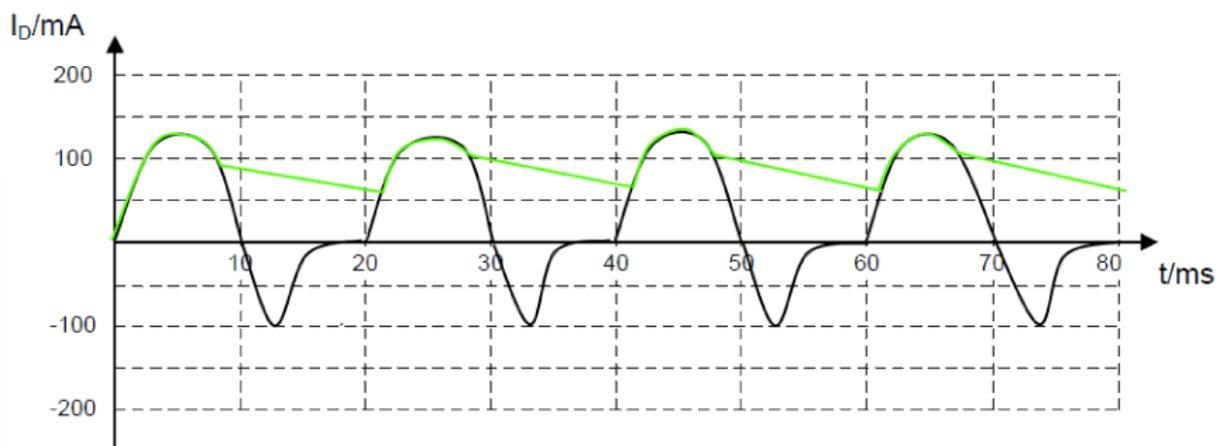
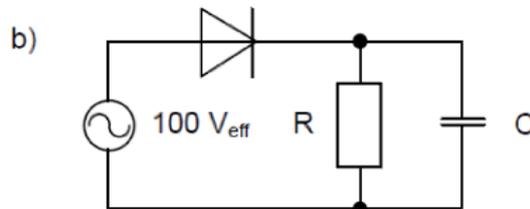
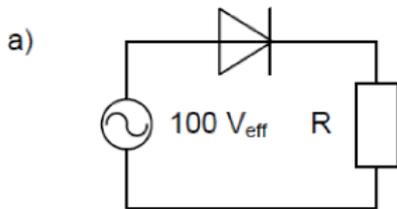
- t_s – storage, Speicherzeit
- t_f – falloff, Abfallzeit
- $t_{off} = t_s + t_f$ – Ausschaltzeit
- allgemein: $t_{on} < t_{off}$



4.9. Nennen Sie die wichtigsten Typen von Dioden und deren Anwendungen!

<p>Spitzendiode:</p> <ul style="list-style-type: none">- Historisch- HF-Gleichrichter	
<p>Planardioden:</p> <ul style="list-style-type: none">- Universaldioden- Gleichrichter für kleine Ströme	
<p>Flächendioden:</p> <ul style="list-style-type: none">- Gleichrichter bis kA	
<p>Skoh-HF-Dioden:</p> <ul style="list-style-type: none">- Metall-Halbleiter-Übergang	

4.10. Skizzieren Sie den zeitlichen Verlauf des Stromes durch die Diode entsprechend der Schaltung a.) Die Frequenz der Eingangsspannung beträgt $f=50\text{Hz}$ wie ändert sich der Verlauf des Stromes wenn entsprechend der Schaltung b.) parallel zu $R=1\text{k}\Omega$ ein Kondensator von $C=50\mu\text{F}$ geschaltet wird? Skizzieren Sie qualitativ den Stromverlauf auch für diesen Fall. Welche Sperrspannung muss die Diode mindestens aufweisen, welche Nennspannung ist für den Kondensator mindestens vorzusehen?



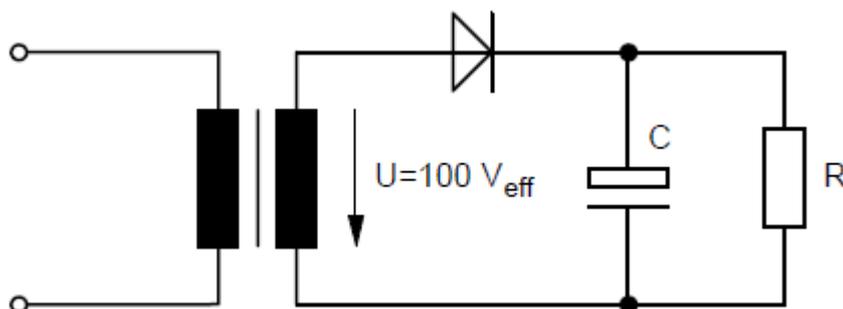
Der Kondensator muss mindestens den Spitzenwert der Spannung von $\hat{u} = U_{eff}\sqrt{2} = 141\text{V}$ vertragen um das Bauteil nicht an seine Grenzen betreiben zu müssen nochmal 30% drauf gerechnet also 183V. Als Bauform ist der ELKO geeignet.

Diode in Sperrichtung wirkt wie unendlicher Widerstand.

$$U_{sperr} = 141\text{V}$$

Um die Diode nicht an seine Grenzen zu betreiben werden wieder 30% aufgeschlagen also insgesamt 183V.

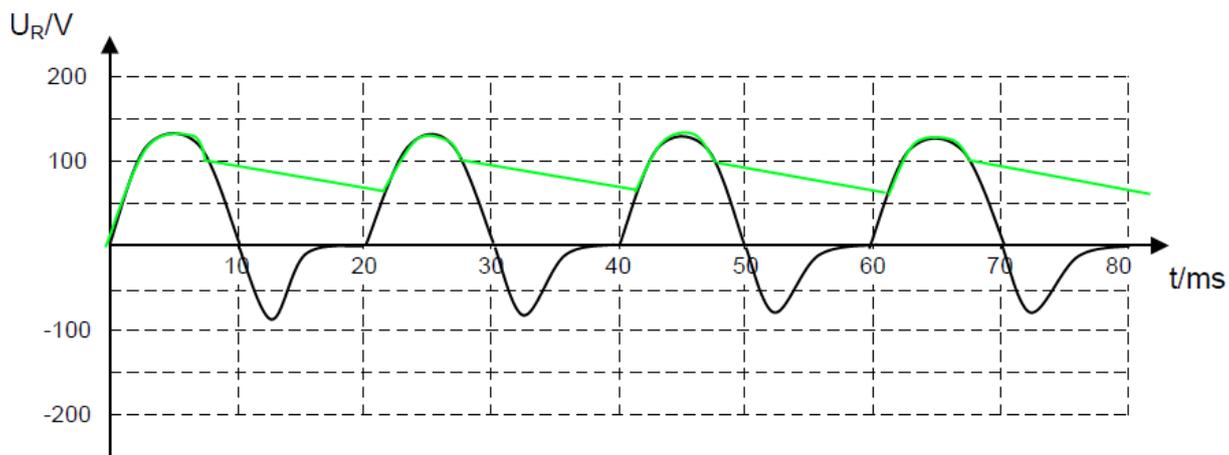
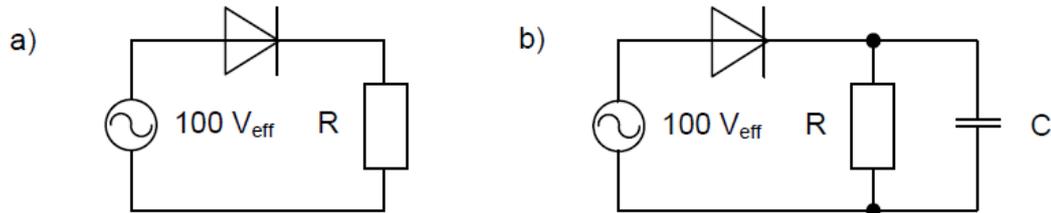
4.11. Für welche Sperrspannung muss die Diode in der abgebildeten Gleichung mindestens ausgelegt sein? Begründen Sie ihre Antwort!



$$U_d = U\sqrt{2} * 1,3 = 184\text{V}$$

Die Diode muss die Spannungsspitzen aushalten deshalb wird der Effektivwert hoch gerechnet. Um die Diode nicht an ihre Grenzen zu betreiben, werden nochmal 30% mit einberechnet.

4.12. Skizzieren Sie den zeitlichen Verlauf des Stromes durch die Diode entsprechend der Schaltung a.) Die Frequenz der Eingangsspannung beträgt $f=50\text{Hz}$ wie ändert sich der Verlauf des Stromes wenn entsprechend der Schaltung b.) parallel zu $R=1\text{k}\Omega$ ein Kondensator von $C=50\mu\text{F}$ geschaltet wird? Skizzieren Sie qualitativ den Spannungsverlauf auch für diesen Fall. Welche Sperrspannung muss die Diode mindestens aufweisen, welche Nennspannung ist für den Kondensator mindestens vorzusehen?



Der Kondensator muss mindestens den Spitzenwert der Spannung von $\hat{u} = U_{eff}\sqrt{2} = 141\text{V}$ vertragen um das Bauteil nicht an seine Grenzen betreiben zu müssen nochmal 30% drauf gerechnet also 183V. Als Bauform ist der ELKO geeignet.

Diode in Sperrichtung wirkt wie unendlicher Widerstand.

$$U_{sperr} = 141\text{V}$$

Um die Diode nicht an seine Grenzen zu betreiben werden wieder 30% aufgeschlagen also insgesamt 183V.